

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO EN LA FUENTE DE
RESIDUOS BIODEGRADABLES EN LA CENTRAL MINORISTA IMPALA DE LA
CIUDAD DE PEREIRA**

**LEIDY VANNESA MUÑOZ MELO
SARA LUCIA RAMIREZ AGUIRRE**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL
PEREIRA-RISARALDA, 2020**

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO EN LA FUENTE DE
RESIDUOS BIODEGRADABLES EN LA CENTRAL MINORISTA IMPALA DE LA
CIUDAD DE PEREIRA**

LEIDY VANNESA MUÑOZ MELO

SARA LUCIA RAMIREZ AGUIRRE

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Administradoras
Ambientales**

Propuesta de trabajo de grado

Director

Darwin Hernández Sepúlveda

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL

PEREIRA-RISARALDA, 2020

Nota de aprobación

Darwin Hernández Sepúlveda

Director

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente le doy las gracias a Dios, por darme la sabiduría, la constancia y dedicación para cumplir mis sueños.

Agradezco a mi madre y hermanas por su apoyo y confianza, por ser mis pilares y mi luz, mi madre Omaira, por ser mi modelo a seguir; a mi pareja Esteban, por sus consejos, amor y paciencia; a mi familia por su amor y sus valiosos consejos de superación; a mis amigos que cree durante este proceso, porque me dejaron grandes enseñanzas y bonitos recuerdos, y, por último, pero no menos importante a mi compañera, Sara R. por su comprensión y dedicación.

Leidy Vannesa Muñoz M.

Primero agradecer a Dios por permitirme cumplir esta meta tan importante. Agradezco a mis padres por acompañarme en este camino, ser los principales promotores de sueños, por sus consejos, valores y principios inculcados, mi madre, María Concepción por su amor y ejemplo de paciencia y fe en cualquier situación; a mi padre, Edison por ser mi ejemplo de superación y demostrarme que con constancia y esfuerzo todo se puede lograr. A mi hermano, David por ser mi motivación y amor más puro. A toda mi familia por los años de apoyo y comprensión.

A Esneider, mi compañero de vida, por su infinita paciencia, apoyo y amor. A mi compañera, Vanesa, por su tiempo y dedicación para que este sueño se hiciera realidad.

A nuestro director de trabajo de grado, Darwin Hernández por brindarnos su tiempo y conocimientos. Y a los docentes de la Facultad de Ciencias Ambientales que nos brindaron su orientación en todo este recorrido académico.

Sara Lucia Ramírez Aguirre.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUCCIÓN	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
4. MARCO CONCEPTUAL.....	15
5. MARCO LEGAL	17
6. OBJETIVOS.....	18
6.1 Objetivo General.....	18
6.2 Objetivos Específicos	18
7. METODOLOGÍA	19
7.1 Metodología Objetivo 1	19
7.2 Metodología Objetivo 2.....	27
7.3 Metodología objetivo 3.....	28
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
8.1 Resultados objetivo 1.....	28
8.2 Resultados objetivo 2.....	36
8.2.1. Compostaje aerobio	36
8.2.2 Compostaje anaerobio.....	41
8.2.3. Disposición en relleno sanitario.....	45
8.2.4 Metodología de Jerarquización Multicriterio.....	49
8.2.4.1. Criterios.....	49
8.2.4.2. Selección de subcriterios.....	50
8.2.4.3 Comparaciones por pares.	52
8.2.4.4 Criterios.....	53
8.2.4.5. Decisión	63
8.2.5 Costo del Compostaje Anaerobio	64
8.3 Resultados objetivo 3.....	68
8.3.1 Separación en la Fuente	69

8.3.2 Recolección interna.....	71
8.3.3 Tratamiento con fines de aprovechamiento	72
9. CONCLUSIONES	74
10. BIBLIOGRAFÍA.....	75
11. ANEXOS.....	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Sub indicadores de HC en el municipio de Pereira.	21
Tabla 2. Factores de emisión para el cálculo de la huella de carbono.....	22
Tabla 3. Tipo de residuos generados una vez identificadas las fuentes de generación	30
Tabla 4. Impacto ambiental en términos de Huella de Carbono asociado al actual manejo de los residuos biodegradables de la central minorista Impala, según etapas de ciclo de vida.	33
Tabla 5. Huella de carbono asociada a la generación y manejo de residuos biodegradables en la central minorista impala de Pereira.	34
Tabla 6. Ventajas y desventajas de sistemas cerrados de compost.	44
Tabla 7. Características y tipos de rellenos sanitarios.	47
Tabla 8. Asignación de valores ponderados y priorización de criterios.....	50
Tabla 9. Escala de preferencias.	53
Tabla 10. Comparación por pares de criterios.....	54
Tabla 11. Calificación del subcriterio de inversión.....	55
Tabla 12. Calificación del subcriterio de operación y mantenimiento.....	57
Tabla 13. Calificación del subcriterio personal especializado.	58
Tabla 14. Calificación del subcriterio cantidad de residuos a tratar.....	60
Tabla 15. Calificación del subcriterio tiempo de degradación	61
Tabla 16. Calificación del subcriterio vectores	62
Tabla 17. Decisión de la tecnología más apropiada.	63
Tabla 18. Costos de inversión de la alternativa óptima.....	65
Tabla 19. Costos de Implementación	66
Tabla 20. Costos de operación de la alternativa óptima.	67
Tabla 21. Costos de la alternativa óptima.	67
Tabla 22. Costos de mantenimiento de la alternativa óptima.....	68
Tabla 23. Valores asociados huella de carbono asociada a la generación y manejo de residuos biodegradables central minorista Impala.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la central minorista Impala	29
Figura 2. Impacto ambiental en términos de Huella de Carbono asociado al manejo actual de RSUOR en el municipio de Pereira, según etapas de ciclo de vida.	34
Figura 3. Tipos de recipientes usados como compostera.	43
Figura 4. Recipientes por colores.....	69

RESUMEN

Los residuos sólidos biodegradables son un problema actual que requiere un adecuado manejo, tratamiento y aprovechamiento, lo cual minimiza un gran número de impactos ambientales que conllevan a la sostenibilidad de los recursos naturales.

La importancia del aprovechamiento de los residuos biodegradables adquiere mayor dimensión por el acelerado crecimiento poblacional y la necesidad de reutilizar materias primas desechadas; en las plazas de mercado se producen unos volúmenes considerables de residuos biodegradables los cuales son una de las principales causas que contribuyen a la contaminación ambiental.

En la central minorista Impala, no se realiza correctamente el manejo integral de estos residuos, lo que motivó a realizar una propuesta de un sistema de aprovechamiento en la fuente de residuos biodegradables en dicho establecimiento de la ciudad de Pereira.

Este trabajo define algunos de los tipos de aprovechamiento apoyados en la normatividad existente y los costos para la implementación de la tecnología óptima, además se realizó la clasificación de los residuos, pasando por la generación y finalizando con la propuesta de actividades enfocadas a la educación ambiental.

Palabras clave: Residuos sólidos biodegradables, aprovechamiento, educación ambiental.

ABSTRACT

Biodegradable solid waste is a current problem that requires adequate management, treatment and use, minimizing a large number of environmental impacts that lead to the sustainability of natural resources.

The importance of the use of biodegradable waste becomes more important because of the rapid population growth and the need to reuse discarded raw materials; considerable volumes of biodegradable waste are produced in the market squares, which are one of the main causes contributing to environmental pollution.

At the Impala marketplace, the comprehensive management of these wastes is not carried out correctly, which led to a proposal for a system of use in the source of biodegradable waste in that establishment in the city of Pereira.

This work defines some of the types of use supported by existing regulations and costs for the implementation of optimal technology, in addition the classification of waste was carried out, going through the generation and ending with the proposal of activities focused on environmental education.

Keywords: Biodegradable solid waste, harvesting, environmental education.

1. INTRODUCCIÓN

El manejo de los residuos sólidos biodegradables es una acción que se hace necesaria para reducir el impacto generado por la ciudad y como una forma de mejorar el destino último de dichos residuos, estimando la naturaleza orgánica de estos, los cuales se descomponen fácilmente, formando parte del suelo y aportando diferentes elementos de provecho para el mismo.

Según la Actualización del Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Pereira 2015-2027 (PGIRS) (Alcaldía, 2015) la central minorista impala de la ciudad de Pereira, es una fuente considerable de residuos sólidos biodegradables que genera grandes impactos, puesto que son dispuestos directamente en el relleno sanitario la Glorita.

Dado lo anterior el presente trabajo propone un sistema de aprovechamiento de residuos biodegradables, el cual surge por el interés de disminuir los impactos generados diariamente en el relleno sanitario la Glorita, con el fin de aportar al establecimiento una mejora en términos de educación ambiental, mediante la definición de actividades de separación en la fuente, recolección interna y tratamiento con fines de aprovechamiento. Teniendo en cuenta que, para la selección de la alternativa ambientalmente apropiada, se consideran factores técnicos, operativos y ambientales que influyen en la aplicación de una tecnología de aprovechamiento en el lugar de aplicación, teniendo, así como resultado la tecnología más eficiente para la central minorista.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aumento poblacional a nivel mundial en los últimos años, ha provocado la generación excesiva de residuos sólidos, asociados a la cultura consumista y capitalista enmarcada en la economía convencional actual. La cual, crea una problemática ambiental, que tiene como consecuencia la contaminación y afectaciones a los recursos naturales. De este modo los residuos biodegradables, provocan afectaciones a la salud humana debido a la proliferación de vectores transmisores de enfermedades en lugares de acumulación de este tipo de residuos (Escalona, 2014).

Por lo anterior, en la convención internacional Celebrada en Río de Janeiro (1992) y como objetivo fundamental, se buscó introducir un programa extenso y un nuevo plan para la acción internacional en temas de medio ambiente y desarrollo. Entre los cuales se propone programas para concienciar al consumidor sobre el desperdicio de alimentos y la energía utilizada en su producción, así como los reglamentos que obligan a reducir la gestión de residuos orgánicos (Comité de seguridad alimentaria mundial, 2014)

Además, enfatizó que el manejo de residuos sólidos, no solo se centra en un problema de recolección y disposición sino también en su ciclo de vida, el cual incluye modelos sostenibles de producción y consumo. En el caso de los residuos sólidos biodegradables, se busca que estos reciban un adecuado manejo desde la fuente para evitar así, que vayan al relleno sanitario y de la misma forma evitar la acumulación y contaminación por la excesiva generación de este tipo de residuos (Ullca, 2006).

En Colombia mediante el Decreto 2891 de 2013 (Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio, 2013) por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo, en el párrafo 4 se establece que las plazas de mercado, cementerios, mataderos o frigoríficos, estadios,

terminales de transporte deben establecer programas internos d almacenamiento y presentación de residuos, de modo que se minimice la mezcla de los mismos y se facilite el manejo y posterior aprovechamiento, en especial de los de origen orgánico.

A nivel Municipal, los residuos generados en la central minorista Impala comúnmente son llevados al relleno sanitario la Glorita, sin darles un aprovechamiento, especialmente los residuos biodegradables. Es por esto que para Pereira se estableció mediante el Decreto 270 del 2019 (Alcaldia de Pereira, 2019) el esquema de aprovechamiento del servicio público de aseo, la formalización transitoria del oficio de reciclaje en el Municipio de Pereira, en donde se modifica e incorpora el PGIRS del Municipio y se dictan otras disposiciones.

Siguiendo el orden de ideas, para este trabajo de investigación, se sugiere la siguiente pregunta de investigación, ¿Qué alternativas de aprovechamiento de residuos biodegradables se podrían implementar para tratar los residuos biodegradables generados en la central minorista Impala del municipio de Pereira, Risaralda? A partir de esta interrogante se realizará el trabajo investigativo que busque dar respuesta a dicha pregunta.

3. JUSTIFICACIÓN

La central minorista Impala de la ciudad de Pereira, está enfocada a la comercialización de alimentos perecederos de la canasta familiar, es uno de los mayores productores de residuos sólidos biodegradables, según el estudio realizado por la empresa de aseo de Pereira en el programa basura cero (2013) se encontró que se genera 4,8 ton/día de residuos sólidos en donde el 93% de estos son residuos biodegradables. Es por esto que el presente proyecto busca formular una propuesta de aprovechamiento con el fin de disminuir la presión y los impactos sobre el ambiente, dado que no se cuenta con una actividad que permita la separación, recolección y tratamiento de los residuos sólidos en la fuente y que promueva la educación ambiental.

Debido a la cantidad generada de residuos sólidos biodegradables en la central minorista Impala se han generado distintos tipos de problemas ambientales que afectan a salud y bienestar de los habitantes del sector y a los trabajadores de la central minorista, por lo tanto es necesario emprender acciones que atenúen los impactos nocivos y reduzcan el volumen de los residuos sólidos biodegradables que van al relleno sanitario, contribuyendo así con la gestión ambiental y manteniendo la central minorista Impala libre de malos olores, proliferación de insectos y enfermedades.

4. MARCO CONCEPTUAL

Debido a las inmensas cantidades de residuos generados y a la necesidad de aprovechar al máximo los nutrientes se han utilizado diferentes tecnologías para el aprovechamiento de los residuos biodegradables; a finales del siglo XIX, principalmente en Estados Unidos, se buscó una manera de tratar los residuos en aquellas poblaciones que no disponían de sistema de alcantarillado. (Soliva, López y Huerta, 2008)

El proceso de los residuos biodegradables y la aplicación del compostaje han sido muy utilizados en el mundo. Puesto que estos residuos fácilmente se degradan. Del estiércol y residuos vegetales; se puede obtener el compost, los cuales resultan ser beneficiosos para los suelos. Sus aplicaciones pueden ser tanto a escala doméstica como en el ámbito industrial.

Es así entonces, que los residuos biodegradables pueden ser Restos de frutas y verduras, Residuos de poda de prados y jardines y Líquidos biodegradables, los cuales, se descomponen con cierta rapidez por organismos vivientes como: bacterias, hongos, gusanos e insectos (Bustos 2013). Dichos residuos, al tener un manejo óptimo, pueden ser tratados mediante un “conjunto de acciones, cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, re manufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía” (Bustos, 2013, p. 24).

Entre el conjunto de acciones o alternativas para esta investigación en torno a la recuperación y reutilización de los residuos biodegradables, se encuentra el compostaje aerobio, compostaje anaerobio y relleno sanitario. De esta manera, el compostaje o abono orgánico es el resultante de un proceso de reciclaje de materia orgánica, de características definidas y útiles para la agricultura (Bustos, 2013).

Según el estudio de técnicas alternativas de tratamiento, disposición final y/o aprovechamiento de residuos sólidos – propuesta de ajuste al decreto 838 de 2005 (MAG consultoría, 2016), el compostaje aerobio, es un proceso que lleva a cabo la degradación biológica y la maduración de la fracción orgánica. En este proceso, la materia orgánica se descompone por microorganismos propios del material orgánico, que requieren de oxígeno y de humedad adecuada. En este proceso se obtiene el dióxido de carbono, agua y calor, además de un resto orgánico estable.

Así mismo, el compostaje anaerobio degrada la materia orgánica para la obtención de una mezcla gaseosa conocida como biogás. Este proceso contiene aproximadamente entre un 50 a 60% de gas metano y un 30% de dióxido de carbono. Además, se obtiene un lodo residual con valor de fertilizante rico en nutrientes (Sztern y Pravia, 1999). Por otro lado, el relleno sanitario según el estudio mencionado anteriormente, surgió como alternativa para eliminar los botaderos a cielo abierto y en consecuencia ésta es la técnica más utilizada para la eliminación de los residuos actualmente. Según el doctor Patrick N (1961 citado en Díaz y Vallejo, 2017), los rellenos sanitarios han sido considerados como los métodos más eficientes y económicos, dado que, su proceso consiste en el recubrimiento de los residuos sólidos por capas sucesivas compactadas y cubiertas con tierra.

Por otra parte, es necesario recalcar que para obtener un proceso efectivo en los sistemas de compostaje (aerobio y anaerobio) se debe contar con sensibilización de las personas a la hora de la separación de los residuos en la fuente, para dar cumplimiento a lo anterior, se requiere la implementación de Educación Ambiental la cual, busca “educar para cambiar la sociedad, procurando que la toma de conciencia se oriente hacia un desarrollo humano que sea simultáneamente causa y efecto de la sustentabilidad y la responsabilidad global”(Vega y Álvarez, 2005, p.10)

5. MARCO LEGAL

Mediante la Ley 99 de 1993 se da la creación del Ministerio del Medio Ambiente; el cual, según el Régimen legal de Bogotá (s.f.), es un:

“Organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de impulsar una relación de respeto y armonía del hombre con la naturaleza y de definir, en los términos de la presente Ley, las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible. Art 2°”

En consecuencia, y recogiendo lo establecido en el Código Nacional de Recursos Naturales, Decreto-Ley 2811 de 1974, en el cual se establece *“la necesidad de encontrar las mejores técnicas para garantizar sistemas de eliminación, tratamiento y disposición final de residuos”* (Banco Mundial- República de Colombia, 2014).

En el Municipio de Pereira el PGIRS (2015-2027) busca regular el manejo a los Residuos Sólidos, promoviendo la reducción y separación de los residuos sólidos en la fuente, *“(…) además de incrementar las posibilidades de valoración y aprovechamiento de materiales recuperables”* (Alcaldía de Pereira, 2015, p. 18). Esto, con el fin de contribuir positivamente con el ambiente mediante el aprovechamiento de los residuos y reduciendo de los Residuos Sólidos generados.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

Estructurar una propuesta para la optimización del manejo de los residuos biodegradables en la central minorista Impala en el municipio de Pereira, para la reducción de los impactos ambientales asociados a su actual manejo.

6.2 Objetivos Específicos

1. Consolidar la línea base frente a la generación y manejo de los residuos biodegradables generados en la Central Minorista Impala en el municipio de Pereira, mediante la estructuración de un sistema de indicadores que permita evidenciar los impactos ambientales derivados de su actual manejo.
2. Seleccionar la alternativa óptima de manejo de los residuos biodegradables en la Central Minorista Impala en el municipio de Pereira, tomando como referencia criterios técnico, financiero y ambiental.
3. Proponer acciones de manejo en las actividades de educación ambiental, generación y manejo en la fuente, recolección selectiva interna, almacenamiento selectivo interno y tratamiento con fines de aprovechamiento; para reducir los impactos ambientales asociados a la generación y manejo de los residuos biodegradables en la Central Minorista Impala en el municipio de Pereira.

7. METODOLOGÍA

7.1 Metodología Objetivo 1

Agregar información complementada con información suministrada por funcionarios de la central minorista, para la cuantificación de la generación de los residuos biodegradables complementando la información suministrada con el estudio *“Potencial de aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables generados en la central minorista Impala de la ciudad de Pereira”*. Para determinar la generación de residuo sólidos se definirán los siguientes aspectos:

1. Descripción del sistema de estudio, fuentes de generación y tipos de residuos. Se identificarán las fuentes de generación de los residuos según sus actividades comerciales, administrativas y operativas que se desarrollan dentro de la central.

Tipo de residuos generados, una vez identificadas las fuentes de generación: Se identificarán los residuos generados en cada fuente, clasificados por tipos (Ordinarios, especiales, peligrosos), resaltando las fuentes de generación de residuos biodegradables susceptibles a tratamiento con fines de aprovechamiento. Para esto se tendrá en cuenta:

- a. Fuentes de información primaria: Visita a la central minorista y entrevistas.
- b. Fuentes de información secundaria: Documento *“Potencial de aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables generados en la central minorista Impala de la ciudad de Pereira”* (Empresa de Aseo de Pereira, 2013).

2. Cuantificación de la generación de residuos biodegradables: se complementará la información con el estudio *“Potencial de aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables generados en la central minorista Impala de la ciudad de Pereira”* con información actualizada que suministren los funcionarios de la central minorista. El manejo

actual dado a los residuos biodegradables generados se determinará mediante las actividades asociadas al mal manejo de los residuos biodegradables (manejo en la fuente, recolección interna, almacenamiento final interno y manejo final externo).

3. Indicador de huella de carbono asociado a la generación y manejo de residuos biodegradables en la central minorista Impala (Huella de Carbono – HC). Mediante la Metodología del IHC, se realizará la valoración del impacto ambiental asociado a la generación y manejo de residuos biodegradables en la central minorista Impala, con los siguientes criterios:

- Categoría de impacto: Calentamiento global.
- Impacto ambiental: Huella de carbono.
- Indicador de impacto: Toneladas equivalentes de CO₂ (Ton.eq.CO₂)

La Huella de carbono se estimó con criterios de análisis de ciclo de vida, de la siguiente manera:

- **Unidad funcional:** Manejar los residuos biodegradables generados en la central minorista Impala durante el año 2020, a través de las actividades de recolección, transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final, mediante escenarios factibles que conduzcan a la minimización de los impactos ambientales.
- **Flujo de referencia:** 4,4 ton/día corresponden a los residuos biodegradables generados en la central minorista impala (1,606 ton/año).
- **Límites del sistema:** Los límites del sistema están definidos por las siguientes etapas:
 - Obtención y distribución de materias primas que constituyen el flujo de los residuos biodegradables.

- Uso (consumo) de productos perecederos en la central minorista Impala que derivan en la generación de residuos biodegradables.
- Recolección y transporte de residuos biodegradables hasta su fin de vida (aprovechamiento y disposición final).
- Fin de vida de residuos biodegradables aprovechados.
- Fin de vida de residuos biodegradables no aprovechados.

Durante la etapa de uso de productos en la central minorista se consideró un impacto ambiental cero, ya que el presente trabajo se enfoca en los impactos asociados a la generación y manejo de residuos sólidos biodegradables y no al uso de bienes de consumo, que durante dicha etapa no se consideran un residuo por definición. En este sentido durante la etapa de uso o consumo, se tuvo en cuenta la generación de residuos como aspecto determinante del flujo de los residuos biodegradables y los impactos ambientales en las etapas de manejo de estos. Al respecto, en la “Guía Técnica Orientada al Cálculo y Gestión de la Huella Asociada al Manejo y Disposición de Residuos” (Fundación Natura, 2016) se consideró que esta etapa no aplica para efectos de medición de la huella de carbono en el manejo de residuos.

La información utilizada para el cálculo de la huella de carbono proviene del análisis de flujo de materiales (AFM).

Subindicadores del IHC: El indicador se calculó a partir de los siguientes sub indicadores:

Tabla 1 Sub indicadores de HC en el municipio de Pereira.

	Indicador de emisiones (Huella de Carbono - IHC)
--	---

.1	Subindicador de HC por minimización en la generación de residuos biodegradables (IHCM)	$((B-A)/B)*100$
	HC potencial en el año base (en un escenario hipotético sin aprovechamiento de Residuos biodegradables (Ton. Eq. CO2/Año)	A
	HC potencial en el año anterior al año base (en un escenario hipotético sin aprovechamiento de Residuos biodegradables (Ton. Eq. CO2/Año)	B
.2	Subindicador de HC por aprovechamiento de Residuos biodegradables (IHCA)	$(B/A)*100$
	Reducción de emisiones en un escenario hipotético de aprovechamiento total de Residuos biodegradables (Ton. Eq. CO2/Año)	A
	Reducción de emisiones por aprovechamiento de Residuos biodegradables en el año base o en un escenario factible (Ton. Eq. CO2/Año)	B
.3	Subindicador de HC por manejo de residuos biodegradables (IHCM)	$(B/A)*100$
	HC en el año base o en un escenario de aprovechamiento factible (Ton. Eq. CO2/Año)	A
	HC en un escenario hipotético de aprovechamiento total de residuos biodegradables (Ton. Eq. CO2/Año)	B

Fuente: Fuente: Este documento, adaptado de Hernández (2020).

Factores de emisión: A continuación, se indican los factores de emisión utilizados en las diferentes etapas del ciclo de vida de los Residuos biodegradables:

Tabla 2. Factores de emisión para el cálculo de la huella de carbono.

1. Factores de emisión de GEI asociados a procesos de obtención de materias primas y producción de bienes de consumo obsoletos que forman parte del flujo de residuos biodegradables.

Producto	Emisiones (de la cuna a la puerta)		Fuente
Alimentos	0,81	Ton.Eq.CO2/Ton.alimento	Universidad Politécnica de Valencia (2017)
Papel	17,66	Ton.Eq.CO2/Ton.papel.virgen	Asociación Nacional de Industriales y Empresarios de Colombia – ANDO (2016)
Plástico virgen	2,72	Ton.Eq.CO2/Ton.plástico.virgen	ASIPLA (2009)
Vidrio	1,75	Ton.Eq.CO2/Ton.vidrio.virgen	Ashby (2009).
Metales	6,02	Ton.Eq.CO2/Ton.metal.virgen	United States Environmental Protection Agency – US EPA (2006)

2. Factores de emisión de GEI asociados a la recolección y transporte de residuos biodegradables hasta su fin de vida (aprovechamiento y disposición final)

Factores de emisión directa para el Diesel (fuentes móviles)

	Factor de emisión (kgCO2/gal)	Factor de emisión (kgCH4/gal)	Factor de emisión (kgN2O/ga l)

Diesel B10 (mezcla comercial)	10,2765	0,000535579	0,000535579
Dióxido de Carbono equivalente (CO2 Eq.)	1	28	265

Fuente: Fundación Natura (2016).

3. Factores de emisión por aprovechamiento de residuos biodegradables.			
3.1 Factores de reducción potencial de emisiones de GEI asociados a la HC de la actividad de tratamiento de RSUOR inorgánicos aprovechables (RSUORIA) (papeles, plásticos, vidrios y metales)			
Factor de reducción potencial de emisiones por aprovechamiento (Ton.Eq.CO2/Ton.Material)			
Material	Mínimo		Máximo
Papeles	0,60		3,20
Plásticos	0,95		1,88
Vidrios	0,18		0,62
Metales	1,40		17,80

Fuente: Zaman y Lehmann (2013)

3.2 Factores de emisión de GEI para tratamiento biológico de RSUORO (Biodegradables)				
Tipo de tratamiento	Factores de emisión de CH4 (Ton.CH4/Ton.RSUORO.tratado)		Factores de emisión de N2O (Ton.N2O/Ton.RSUORO.tratado)	
	Base seca	Base húmeda	Base seca	Base húmeda

Aeróbico	0,01	0,004	0,0006	0,0003
Anaeróbico	0,002	0,001	Se supone insignificante	Se supone insignificante

Fuente: Arnold, M. (2005); Beck-Friis (2002); Detzel et al. (2003); Petersen et al. 1998; Hellebrand 1998; Hogg, D. (2002); Vesterinen (1996).

Citado en: Directrices del IPCC (2006).

4. Etapa de fin de vida Residuos sólidos biodegradables no aprovechados (disposición final en relleno sanitario)

4.1 Factores de emisión de GEI asociados al consumo de energía eléctrica en el relleno sanitario "La Glorita" durante el año base.

Mes	Factor emisión Energía Ton CO ₂ /MWh año 2016	Fuente:
Enero	0,320	http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf
Febrero	0,320	http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf
Marzo	0,370	http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf
Abril	0,280	http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf

Mayo	0,130	http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf	
Junio	0,130	http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf	
Julio	0,110	http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf	
Agosto	0,130	http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf	
Septiembre	0,120	http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf	
Octubre	0,150	http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf	
Noviembre	0,115	http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf	
Diciembre	0,090	http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf	
Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Ministerio de Minas y Energías de Colombia (2017).			
4.2 Factores de emisión de GEI asociados a la generación de gases y lixiviados en el relleno sanitario “La Glorita”			
Índice de generación de CH4 asociado al lixiviado	m3.CH4/m3.lixiv.tratado	7	

Peso del CH ₄	kg/m ³	68	Rashidi, Zh., et al, 2012
Índice de generación de lixiviado	m ³ .lixiv/Ton.Res.Biod.dispuesta	80	
Índice de generación estimada de biogás a partir de materia orgánica	m ³ /Ton	00	Lacoste, 1997.
Fracción de CH ₄ contenido en el biogás	%	5%	Panesso et al (2012); Robles, M. (2008)

Fuente: Fuente: Este documento, adaptado de (Hernández, 2020)

La determinación del impacto ambiental tomando como criterio la cantidad y el manejo final dado a los residuos biodegradables en la central minorista. Se estimará el impacto ambiental asociado a su actual manejo en términos de huellas de carbono tomando como unidad de medida toneladas equivalentes de CO₂ al año. Partiendo del cálculo del modelo matemático.

7.2 Metodología Objetivo 2.

Las alternativas a considerar en esta propuesta de aprovechamiento de los residuos biodegradables en la Central Minorista Impala en el municipio de Pereira son: el compostaje aerobio y anaerobio, las cuales serán caracterizadas de manera individual, confrontando cada alternativa mencionada con el manejo actual (relleno sanitario). Se investigará mediante revisión bibliográfica la historia, definición, funcionamiento, las ventajas y desventajas, aspectos operativos y de instalación. Para la implementación de la tecnología seleccionada, se asumirá que existe un

área disponible para su ubicación, con el fin de seleccionar la alternativa óptima se utilizará como referencia el documento denominado El método Analytic Hierarchy Process (AHP) para la toma de decisiones del autor Nantes, 2019.

Para seleccionar la tecnología óptima mediante la metodología AHP, se consideran criterios técnicos, económicos y ambientales los cuales serán evaluados a través de una matriz de preferencia de alternativas, la cual contiene subcriterios seleccionados a conveniencia. “Por último las alternativas son clasificadas con relación al nivel de confort que poseen y son ingresadas al modelo” (Nantes, 2019).

7.3 Metodología objetivo 3

Estructurar una propuesta de transformaciones al sistema de manejo actual de los residuos biodegradables generados en la central minorista Impala, que conduzca al tratamiento y aprovechamiento de dichos residuos, a través del concepto de educación ambiental mediante capacitaciones y talleres acerca de la separación en la fuente, recolección interna y tratamiento con fines de aprovechamiento.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Resultados objetivo 1

1. Descripción del sistema de estudio, fuentes de generación y tipos de residuos.

La central minorista Impala, actualmente se encuentra a cargo de la secretaría de servicios administrativos de la Alcaldía municipal. Impala, está ubicada en la en la calle 41 con carrera 09 bis de la ciudad de Pereira, está destinada para la comercialización de frutas, verduras, carnes, artesanías, abarotes, hierbas aromáticas, y zona de comidas; cuenta con 289 locales en el primer

piso, 133 locales en el segundo, 42 locales en el tercero y 9 locales en la parte externa del edificio. En el primer piso, funcionan los distribuidores mayoristas de la plaza de mercado; en el segundo los minoristas y en el tercer piso la zona de comidas y una peluquería. El horario de funcionamiento es de 3 am a 2 pm de lunes a martes en la mayoría de establecimientos (Empresa de Aseo de Pereira, 2013).

Figura 1. Ubicación de la central minorista Impala



Fuente: Google Earth, elaboración propia (2020).

La central minorista Impala cuenta con cuatro fuentes de generación de residuos sólidos que son: Oficinas, locales, zonas comunes y restaurantes. Los residuos sólidos son clasificados en tres tipos así: RESPEL, especiales y ordinarios (biodegradables y no biodegradables). Así mismo los residuos generados por cada fuente de generación son el resultado de las actividades diarias realizadas dentro de la central minorista.

En las oficinas los residuos que se generan principalmente son los RESPEL y los ordinarios no biodegradables, dado que las actividades realizadas son propias del uso de aparatos electrónicos, desechos de tintas, bombillas, así mismo se generan residuos como papel, plásticos y periódicos. Por otro lado, en los locales, se generan más comúnmente residuos biodegradables y no

biodegradables, donde su dinámica propicia el desecho de restos de frutas, hortalizas y cáscaras, además demandan el uso de papeles y bolsas plásticas. En cuanto a las zonas comunes, se identifica mayor producción de residuos de tipos especiales y no biodegradables, debido a que se genera residuos sanitarios, papel, plásticos, vidrios. Por último, en los restaurantes, se generan residuos biodegradables y no biodegradables, debido a desechos de alimentos, servilletas, desechables, entre otros (Empresa de aseo, 2013).

Tabla 3. Tipo de residuos generados una vez identificadas las fuentes de generación

Fuentes de generación	Tipos de residuos			
	RESPEL	Especiales	Ordinarios	
			Biodegradables	No Biodegradables
Oficinas	x			x
Locales			x	x
Zonas Comunes		x		x
Restaurantes			x	x

Fuente: Elaboración propia, 2020

El presente documento se centra en la generación de residuos biodegradables los cuales son generados en locales y restaurantes.

2. Cuantificación de la generación y manejo actual de los residuos biodegradables.

En la central minorista Impala se generan alrededor de 4,8 ton/día, es decir, 1728 ton/año de residuos sólidos que son llevados al relleno sanitario La Glorita; alrededor de 4,4 ton/día son residuos biodegradables y 0,33 ton/día representan otro tipo de residuos, donde 0,12 ton/día (cartón) son aprovechadas por el personal de servicios generales. (Empresa de Aseo de Pereira, 2013)

Con base en esta información se estimará el impacto ambiental en términos de huella de carbono asociado a su actual manejo, donde se evaluarán las alternativas de manejo y el impacto ambiental asociado a cada una de ellas.

En la actualidad no existe tratamiento con fines de aprovechamiento de los residuos biodegradables generados en la central minorista, ya que los residuos son enviados en su totalidad al relleno sanitario regional “La Glorita” de la ciudad de Pereira, a través de la prestación del servicio público de aseo que presta ATESA de Occidente. Este manejo es tomado como criterio para establecer la línea base en cuanto al impacto ambiental asociado a su actual manejo.

3. Determinación del impacto ambiental a partir del Modelo Matemático.

Los resultados del IHC en el municipio de Pereira arrojan un impacto ambiental de 984,9 Ton.Eq.CO₂ anuales asociado a la estructura actual de manejo de los residuos sólidos biodegradables que equivalen a una generación de 3,49 Ton.eq.CO₂ por cada tonelada de residuo manejado Y generado. El mayor impacto corresponde a la etapa de Fin de vida de residuos no aprovechados (Disposición final en relleno sanitario), con 3.222,5 Ton.eq.CO₂/Año (76,39% de la HC total). En segundo lugar, se encuentra la producción de bienes de consumo que posteriormente constituyen los residuos de la central minorista Impala de Pereira con 1209,6 Ton.eq.CO₂/Año.

Es importante resaltar que en la fase de recolección y transporte los residuos sólidos biodegradables representan 10,8 Toneq.CO₂/Año originadas en las emisiones de CH₄, N₂O y CO₂ de los vehículos recolectores de las empresas que prestan el servicio público de aseo de no aprovechables. En el municipio de Pereira no se realiza tratamiento con fines de aprovechamiento de residuos biodegradables, convirtiendo a este residuo en el de mayor impacto, ya que la

descomposición de los residuos biodegradables y el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario representan 4.218,2 Tonneq.CO₂/Año.

Tabla 4. Impacto ambiental en términos de Huella de Carbono asociado al actual manejo de los residuos biodegradables de la central minorista Impala, según etapas de ciclo de vida.

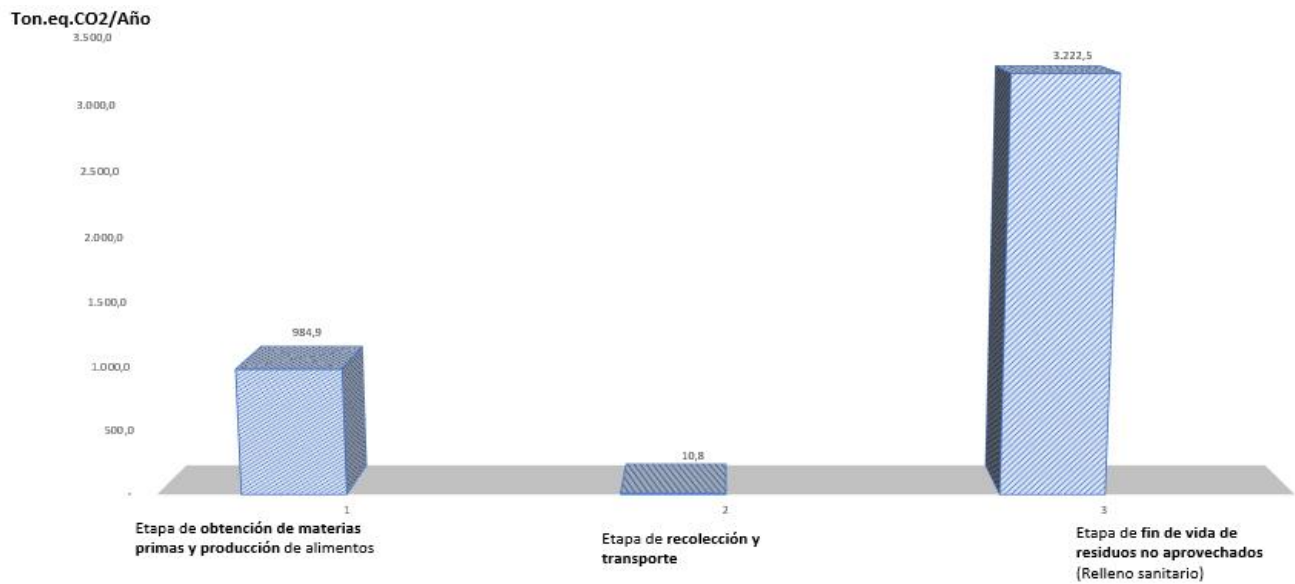
Aspectos asociados a la generación de GEI, según etapas	HC (Ton. eq. CO ₂ /Año)	%
Obtención de materias primas y producción de bienes de consumo que forman parte del flujo de residuos (de la cuna a la puerta) (Sin aprovechamiento)	984,9	23,35%
- GEI Producción alimentos	984,9	23,35%
- GEI Producción papel	-	0,00%
- GEI Producción plástico	-	0,00%
- GEI Producción vidrio	-	0,00%
- GEI Producción metales	-	0,00%
Obtención de materias primas y producción de bienes de consumo que forman parte del flujo de residuos (de la cuna a la puerta) (Con aprovechamiento)	984,9	23,35%
Recolección y transporte de residuos hasta su fin de vida	10,8	0,26%
- Emisiones de CO ₂ vehículos recolectores	10,8	0,26%
- Emisiones de CH ₄ vehículos recolectores	0,0	0,00%
- Emisiones de N ₂ O vehículos recolectores	0,0	0,00%
Fin de vida de residuos no aprovechados (Disposición final en relleno sanitario)	3.222,5	76,39%
- Emisiones de CH ₄ en biogás por descomposición de residuos biodegradables	2.533,4	60,06%
- GEI del tratamiento de lixiviados (sistema anaeróbico)	682,9	16,19%
- Emisiones de CO ₂ asociadas a la operación de maquinaria en el relleno sanitario	6,0	0,14%
- Emisiones de CH ₄ asociadas a la operación de maquinaria	0,0	0,00%
- Emisiones de N ₂ O asociadas a la operación de maquinaria	0,0	0,00%
- GEI asociados al consumo de energía eléctrica (oficinas, PTARND y estación de	0,2	0,00%
HUELLA DE CARBONO TOTAL (Ton. Eq. CO₂/Año)	4.218,2	100%
REDUCCIÓN DE LA HC POR APROVECHAMIENTO (Ton. Eq. CO₂/Año)	-	0,0%

Huella de carbono por tonelada de residuos generada y manejada (Ton.eq.CO₂/Ton residuos)	3,49
--	-------------

Etapa de obtención de materias primas y producción de bienes de consumo para el sector residencial (de la cuna a la puerta)	984,9	23,35%
Etapa de recolección y transporte de residuos hasta su fin de vida	10,8	0,26%
Etapa de fin de vida residuos aprovechados	-	0,0%
Etapa de fin de vida residuos no aprovechados (Incineración)	-	0%
Etapa de fin de vida de residuos no aprovechados (Disposición final en relleno sanitario)	3.222,5	76,39%
TOTAL HUELLA DE CARBONO (Ton. Eq. CO₂/Año)	4.218,2	100,00%

Fuente: Este documento, adaptado de Hernández (2020)

Figura 2. Impacto ambiental en términos de Huella de Carbono asociado al manejo actual de RSUOR en el municipio de Pereira, según etapas de ciclo de vida.



Fuente: Este documento, adaptado de Hernández (2020)

Tabla 5. Huella de carbono asociada a la generación y manejo de residuos biodegradables en la central minorista impala de Pereira.

HUELLA DE CARBONO ASOCIADA A LA GENERACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS BIODEGRADABLES EN LA CENTRAL MINORISTA Impala DE PEREIRA
Unidad funcional:
Manejar los residuos sólidos biodegradables de la central minorista Impala de la ciudad de Pereira.

Flujo de referencia:	1.267	Ton/Año	de residuos biodegradables en la central minorista Impala de Pereira	
Etapas			Año base	2013
Etapa de obtención de materias primas y producción de alimentos (de la cuna a la puerta)				
Etapa de uso (consumo) de productos				1584
Etapa de recolección y transporte hasta su fin de vida				
Etapa de fin de vida de residuos aprovechados				
Etapa de fin de vida de residuos no aprovechados (incineración)				
Etapa de fin de vida de residuos no aprovechados (disposición final en relleno sanitario)				

Fuente: Este documento, adaptado de Hernández (2020).

A partir de lo anterior, se consolido los valores asociados huella de carbono asociada a la generación y manejo de residuos biodegradables en la central minorista impala de Pereira Tabla 23. Donde se plasma: Las entradas, las cantidades la etapa y la salida; lo anterior entorno generación y manejo de residuos biodegradables.

Por consiguiente, las acciones más relevantes para reducir el impacto ambiental derivado del actual manejo de residuos biodegradables deben estar enfocadas al aprovechamiento de residuos y a reducir la generación de los mismos.

8.2 Resultados objetivo 2

Para determinar la alternativa óptima de manejo de los residuos biodegradables en la Central Minorista Impala en el municipio de Pereira, se tomó como referencia criterios tales como: técnico, económico y ambiental. Además, se proponen dos alternativas que son: compostaje aerobio y anaerobio, estas serán contrastadas con la disposición final de los residuos biodegradables que se realiza actualmente. Por consiguiente, para cada una de estas alternativas, se tiene en cuenta información relevante para seleccionar la alternativa óptima, donde se considera la historia, la definición, funcionamiento, materiales utilizados para su fabricación, parámetros de diseño, aspectos para su operación, ventajas y desventajas.

8.2.1. Compostaje aerobio

Historia

Desde la antigüedad, debido a las inmensas cantidades de residuos generados y a la necesidad de aprovechar al máximo los nutrientes que contenían, los sistemas recolección eran simples y cuando los residuos no eran aplicados directamente al suelo se conservaban en montones que acostumbraban a responder al nombre de “estercoleros”. A finales del siglo XIX, principalmente en Estados Unidos, se buscó una manera de tratar los residuos en aquellas poblaciones que no disponían de sistema de alcantarillado, y fue en la primera mitad del siglo XX que Albert Howard sistematizó el compostaje y lo valoró como una técnica de tratar residuos en forma de compost (Soliva et al. 2008).

El proceso de los residuos biodegradables y la aplicación del compostaje han sido muy utilizados en el mundo. Puesto que, estos residuos fácilmente se degradan, del estiércol y residuos vegetales; se puede obtener el compost, los cuales resultan ser beneficiosos para los suelos; además

se aplica a la fracción orgánica de los residuos de origen urbano. Sus aplicaciones pueden ser tanto a escala doméstica como en el ámbito industrial, a mediano y largo plazo.

Definición

“El compostaje es un proceso efectivo para la valorización de los desechos, que con un adecuado manejo este sirve como biofertilizante estable y rico en nutrientes” (Lin, 2018 citado en Yang, Li, Han, Qian, Li y Luo , 2019). De igual manera, Román, Martínez y Pantoja (2013) definen el compostaje como la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes.

Funcionamiento

El compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. En el compostaje, la transformación de la materia orgánica se efectúa por la actividad de diversos microorganismos, tales como actinomicetos, bacterias y hongos, siendo las bacterias las que desempeñan el papel principal (Alcaldía Mayor de Bogotá, s.f). La transformación de los residuos sólidos (humus), puede ocurrir de dos formas distintas: descomposición aerobia y anaerobia. Según Ambientum (s.f.), para que el compostaje se efectúe adecuadamente, este cuenta con 3 etapas las cuales son:

- **Fase Mesófila:** consistente en la asimilación de elementos nutritivos, de materia orgánica, a los microorganismos, utilizando una parte de los compuestos orgánicos como fuente de energía y otra para formar nueva masa de microorganismos.
- **Fase Termófila o de Higienización:** se producen reacciones de autooxidación de los microorganismos cuando comienza a faltar la materia orgánica usada como alimento en la

fase mesófila. En su desarrollo se liberan los nutrientes usados previamente en la síntesis de nuevas células. Este proceso comienza por encima de 40°C, provocando una disminución del crecimiento de la microflora mesófila.

- **Fase de Enfriamiento o Maduración:** medida que se reduce la actividad microbiana se pierde más calor del sistema del que se genera. El material se enfría, llegando a la estabilización del mismo o maduración.

Materiales y Parámetros de diseño

Para la elaboración del compost es necesario principalmente los residuos orgánicos sólidos, que pueden ser, residuos vegetales, porcícolas, avícolas y residuos derivados de lácteos. Para este caso se trabajará con residuos biodegradables (vegetales). Para la implementación del compostaje es necesario tener en cuenta los parámetros de diseño planteados por Román et al. (2013) en el Manual de Compostaje del Agricultor de la FAO, donde propone los siguientes parámetros de diseños para el compostaje:

- **Oxígeno:** El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica. La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua, el rango ideal para el control de la aireación en este sistema de compostaje es de 5% - 15%.

- **Dióxido de Carbono (CO₂):** Durante el compostaje, el CO₂ se libera por acción de la respiración de los microorganismos y, por tanto, la concentración varía con la actividad microbiana y con la materia prima utilizada como sustrato. En general, pueden generarse 2 a 3 kilos de CO₂ por cada tonelada, diariamente. El CO₂ producido durante el proceso de compostaje, en general es considerado de bajo impacto ambiental, por cuanto es capturado por las plantas para realizar fotosíntesis.
- **Humedad:** La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad se encuentra por debajo del 45%, la actividad microbiana disminuye, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad está por encima del 60% el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material.
- **Temperatura:** El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente. Los rangos de temperatura varían entre <35% y > 70%, cuando la temperatura es menor de 35% pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y, por tanto, la temperatura baja. Cuando la temperatura está por encima del 70% la temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesofílicos y facilitar la terminación del proceso.
- **Relación Carbono-Nitrógeno (C:N):** Esta relación también varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde >35:1 a <15:1. El 35:1 significa que hay exceso de

Carbono, debido a que en la mezcla existe una gran cantidad de materiales ricos en carbono.

Cuando la relación entre Carbono-Nitrógeno es menor de 15:1, se presenta un exceso de Nitrógeno.

- **pH:** El pH del compost depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso, desde 4.5 a 8.5.
- **Tamaño de partícula:** La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, esto es, con la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm. Cuando el tamaño de la partícula supera >30 cm hay exceso de aireación y cuando está por debajo de <5 cm hay compactación.

Aspectos operativos

El tamaño de la pila, el volumen a compostar, la cantidad de operarios y los costos de construcción se definirán en función de los residuos biodegradables generados en la central minorista Impala, debido a que la realización del compostaje no será posible un manejo in situ; teniendo en cuenta que por cada tonelada de residuos biodegradables se obtienen 250 kilogramos de compost.

Para analizar los costos económicos de un proceso de compostaje, se deben analizar en primer lugar los siguientes factores:

- Elección del sistema seleccionado
- Cantidad y tipo de material orgánico que se usa para compostar

Ventajas y desventajas

Ventajas: Tomado de Amigos de la Tierra (2015)

- Cierre del ciclo de la materia orgánica, principio de economía circular.
- Producto comerciable.
- Disminución de malos olores y riesgos de contaminación.
- Control de la erosión.

Desventajas: Tomado de Gómez (2006)

- Inversión inicial.
- Disponibilidad de Terreno.
- Emisiones generadas durante el proceso como la generación de lixiviados, olores y polvos.
- Competencia en el mercado con los fertilizantes químicos.

8.2.2 Compostaje anaerobio

Historia

González (2008) habla de los orígenes del compostaje, en el artículo denominado “Los tratamientos biológicos de los residuos orgánicos” donde describe: *“Era muy habitual encontrar desde 1920 firmes defensores del “compostaje anaerobio”, en el que una fase del proceso se debía desarrollar en ausencia de oxígeno, lo que viene a contravenir directamente la principal característica del proceso de compostaje”* (La mitificación del compostaje, párrafo 1).

En Dinamarca en el año 1937 aparece el primer sistema de compostaje cerrado denominado “in-vessel” (sistema de tambores DANO) con el lema “Residuos domésticos para estiércol orgánico”. Posteriormente, en los 25 años después, se establecieron 19 plantas “in-vessel” y otras

en los Estados Unidos, Sudamérica, Oriente Medio, Extremo Oriente, Australia y muchos países europeos. En la década de 1960, este tipo de compostaje cerrado tuvo un alto crecimiento, pero lamentablemente fue un desastre por la falta de conocimiento del proceso. A pesar de esto, a principios de esta década había en Europa 37 plantas de compostaje en funcionamiento (González 2008).

Definición

El compostaje anaerobio, se realiza en un sistema cerrado, donde tiene una serie de características que evitan la acumulación de lluvia, protegiendo así, los materiales de vientos; además, facilita la extracción de lixiviado, controla la invasión de vectores y evita el acceso al material en descomposición por personal o animales. Por otra parte, una de las desventajas de este método es que puede alcanzar altas temperaturas, en donde en climas cálidos, se suele adicionar tierra al recipiente (hasta un 10%) buscando regular la temperatura, ya que establece y no genera calor (Román, et al. 2013).

Funcionamiento

Según el Manual de Compostaje del Agricultor (Román, et al. 2013), se toman las experiencias realizadas en América Latina y se establece unos métodos específicos para realizar el compostaje en un medio cerrado. Es así entonces que, antes de dar inicio al proceso, se debe seleccionar un recipiente, esta elección se basará en el tipo de bidones que estén disponibles, es decir para la cantidad de material del que se disponga para compostar. Así mismo, se deberá tener en cuenta el área donde se dispondrá el recipiente seleccionado; Existen numerosos materiales para usar como recipiente de compost, sin embargo, hay dos modalidades más destacadas: vertical (o continuo/estático) y horizontal (o discontinuo/dinámico).

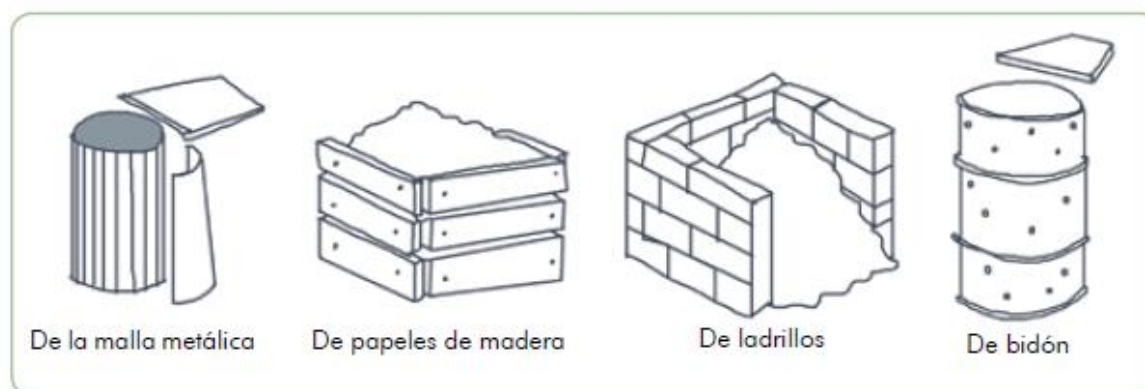
La disposición vertical es en la que el recipiente descansa sobre su base y en donde el material fresco se añade por la parte superior y el material compostado se extrae usualmente por la parte inferior; Se denomina “Continuo” ya que dicho material entra de forma continua así mismo que el producto (Román, et al. 2013).

Por último, se denomina disposición horizontal en el que el recipiente descansa sobre su eje longitudinal y se llama discontinuo dado que es un proceso “por cargas”: Una de las ventajas de la disposición horizontal es que su sistema tiene una mejor distribución en humedad y la compactación, permitiendo así, la obteniéndose del producto homogéneo (Román, et al. 2013).

Materiales

Los bidones plásticos de 220 litros, son los más usados en América Latina, dado que se puede reutilizar con algunas modificaciones, para recipiente de compostaje. En temas de tiempo, este proceso de compostaje es menor que en una pila. Dependiendo de los factores como la temperatura ambiente y del material inicial, el producto puede llegar a la fase de maduración en seis a diez semanas aproximadamente (Román, et al. 2013).

Figura 3. Tipos de recipientes usados como compostera.



Fuente: Román, et al. (2013, p.61).

Aspectos operativos

Los aspectos a tener en cuenta para este tipo de proceso, es la elección del lugar (espacio disponible), el tipo de compostera, la cantidad de material a añadir y el tiempo requerido para el proceso de compostaje. El tamaño del material para dicho proceso debe estar entre 5 y 20 cm para que su descomposición sea la adecuada, así mismo, el recipiente puede ser llenado durante dos o tres semanas. Después del llenado, el recipiente se debe dejar en reposo hasta que el compostaje haya finalizado y se extraiga el compost final (Román, et al. 2013).

Ventajas y desventajas

Tabla 6. Ventajas y desventajas de sistemas cerrados de compost.

	Inversión	Manipulación	Espacio	Compost final
Horizontal o discontinua	Baja	Sencilla	Poco	Heterogéneo
Vertical o continua	Alta	Más compleja	Amplio	Homogéneo

Fuente: Román, et al. (2013, p. 63).

Ventajas: Tomado de Manual de Compostaje del Agricultor Román, et al. (2013).

- Mejor distribución de la humedad.
- Mejor compactación debido a su facilidad para el volteo (manivela), obteniéndose un producto homogéneo.
- fácil de manipular.

Desventajas: Tomado de Manual de Compostaje del Agricultor Román, et al. (2013).

- Mayor inversión en el recipiente que el sistema vertical.

- Se requiere al menos dos recipientes para la continuidad del proceso
- El lixiviado puede salir por los orificios de aireación durante el volteo; para evitar esto se puede colocar un recipiente debajo.

8.2.3. Disposición en relleno sanitario

Historia

A lo largo de la historia, específicamente en la Edad Media, las ciudades aumentaron de tamaño considerablemente, donde por el elevado crecimiento, las sociedades carecían de las mínimas infraestructuras medioambientales para el manejo y la disposición de sus residuos. Es por esto que los restos de los alimentos, los excrementos y los residuos de todo tipo acababan arrojados en las calles, en los terrenos sin edificar y en las cercanías de las ciudades (Chung, s.f).

Con lo anteriormente dicho, en las principales urbes europeas, los problemas sanitarios incrementaron, como consecuencia esto llevó a la producción de roedores que por medio de las pulgas portaban la peste bubónica, esto debido a la falta de gestión de los residuos sólidos, donde muchas de las personas eran infectadas causándoles la muerte. Entorno a lo anterior según Chung (s.f) en el siglo XIX se tomaron consideraciones sanitarias, buscando que los residuos fueran recogidos y evaluados adecuadamente.

En el siglo XX, logran dar una visión más completa, real e integral de los problemas del ecosistema humano, es entonces cuando los residuos urbanos surgen como un problema medioambiental de consideración. Para esto el tratamiento de los Residuos Sólidos desde ese entonces se ha hecho de tres maneras: vertimiento de las basuras en sitios predefinidos, incineración y el compostaje y reciclaje.

Definición

Según la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), el relleno sanitario es una alternativa para la disposición de los residuos sólidos en el suelo, los cuales no causan perjuicio al medio ambiente y ni molestia o peligro para la salud (Granda, 2014). Por lo tanto, el relleno sanitario o vertedero es un espacio destinado para la disposición final de los residuos sólidos en un área lo más estrecha posible, compactando para reducir su volumen y cubriéndose con capas de suelo en forma diaria (Torri, 2017).

Materiales

Los principales componentes para la construcción de un relleno sanitario según Díaz & Vallejo (2017) son: Capa de drenaje, la cual tiene 60 cm de espesor y se coloca en las tuberías antes que cualquier residuo sólido sea dispuesto en el sitio. Se coloca tela de filtro (geotextil filtrante) sobre la capa de drenaje para evitar obstrucciones y colmataciones de las gravas. Las tuberías recolectoras que se encargan de dirigir el biogás a una estación de incineración o de aprovechamiento energético, adicional es necesario contar con un sistema de bombeo que permite enviar los lixiviados a las piscinas donde se realiza el debido tratamiento, las piscinas se construyen con arcilla compactada de 0.60m. Luego se realiza la impermeabilización utilizando una geotextil referencia NT 1600 y una geomembrana de espesor de 1,5 mm, además se usa un geotextil para proteger la geomembrana durante la construcción de la impermeabilización, brindando refuerzo a la filtración y evita el rompimiento de la geomembrana.

Aspectos operativos

En relación a la técnica de disposición final, existen tres tipos de rellenos sanitarios, los cuales están en función a la cantidad generada y población. A su vez el tipo de relleno sanitario determinará la cantidad de operarios que se requieren para el adecuado funcionamiento del mismo (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2012).

A continuación, se mencionan los 3 tipos de Rellenos sanitarios tomados del anterior, la información fue tomada de Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2012, p. 13):

- Manual: método diseñado para poblaciones menores a 40.000 habitantes, cuya generación de residuos sólidos no exceda de 20 Toneladas/día. La característica principal para la disposición final, radica en el empleo de técnicas y equipo manual.
- Semi-mecanizado: método diseñado para poblaciones entre 40.000 y 100.000 habitantes cuya generación se encuentre en un rango de 20 a 40 Toneladas/día. La característica principal, radica en el empleo parcial y permanente de técnicas y equipo mecanizado para el compactado y cobertura (maquinaria pesada).
- Mecanizado: método diseñado para poblaciones mayores a 100.000 habitantes y cuya generación exceda de las 40 Toneladas/día. La característica principal, radica en el empleo de maquinaria pesada combinada de manera permanente en lugar de operación, como, por ejemplo: Tractor Compactador, Bulldozer, Retroexcavadora Cargadora o Pala Frontal Cargadora y equipo de apoyo (Camión Cisterna y Volquete).

Tabla 7. Características y tipos de rellenos sanitarios.

Característica	Relleno Manual	Relleno Semi mecanizado	Relleno Mecanizado
Poblaciones < 10.000 Habitantes	Si		No
Poblaciones 10.000 a 40.000 Habitantes	Se recomienda su uso, con herramientas y maquinaria adaptada	No	No
Poblaciones entre 40.000 a 100.000 Habitantes	No	Si	No
Poblaciones mayor a 100.000 Habitantes	No	No	Si
Utilización de Herramientas menores (pala, carretilla, pico, trinche, rastrillo)	Si	No	No
Utilización de Maquinaria Adaptada (Tractor agrícola) o de Potencia Menor	No	Si	No
Utilización de Maquinaria Pesada Combinada (Bulldozer ó Tractor sobre Orugas, Retro Excavadora, Pala Cargadora)	No	No	Si
Mano de Obra No Calificada (Operarios)	Si	No	No
Mano de Obra Calificada (Operarios)	No	Si	Si
Bascula de Pesaje	No	Si	Si
Impermeabilización natural de la celda (Arcilla)	Si	Si	No
Impermeabilización artificial (Geosintéticos, Geomembranas)	No	Si (Recomendable)	Si
Sistemas de Captación y Tratamiento Primario de Lixiviados	Si	Si	Si
Pozos de Monitoreo de aguas subterráneas	Si	Si	Si
Sistemas de Captación y Venteo de Biogás	Si	Si	No
Sistemas de Captación y Tratamiento de Biogás	No	No	Si
Cerco perimetral	Si	Si	Si
Caseta de Control	No	Si	Si
Área Administrativa	No	Si	Si

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2012, p. 14)

Ventajas y Desventajas

Ventajas: Tomado de Montaña (s.f)

- Evita los problemas de cenizas y de materiales que no se descomponen.
- Tiene bajos costos de operación y mantenimiento.
- La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para instaurar el tratamiento de residuos mediante plantas de incineración o de compost.
- Genera empleo para mano de obra no calificada.

- Permite utilizar terrenos considerados improductivos
- Recupera gas metano en los rellenos sanitarios que reciben más de 500 t/día, lo que puede constituir una fuente alternativa de energía para algunas ciudades.
- Puede estar tan cerca del área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, lo que reduce los costos de transporte y facilita la supervisión por parte de la comunidad.

Desventajas: Tomado de Ullca (2006).

- Características geológicas especiales.
- Emisiones de metano y CO₂.
- Malos olores.
- Posibles problemas de estabilidad al cabo de algunos años.
- Genera efluentes líquidos y gaseosos.
- No se recomienda el uso del relleno clausurado para construir.
- Se requiere un monitoreo luego de la clausura del relleno sanitario, para evitar que la población use el sitio indebidamente.
- Puede ocasionar impacto ambiental de largo plazo.
- Los predios o terrenos situados alrededor del relleno sanitario pueden devaluarse.

8.2.4 Metodología de Jerarquización Multicriterio

Para la selección de la alternativa para el aprovechamiento de los residuos sólidos biodegradables se proponen tres criterios, como se mencionan a continuación:

8.2.4.1. Criterios.

1.1. Financiero.

1.2. Técnico operativo.**1.3. Ambientales.****8.2.4.2. Selección de subcriterios.****2.1 Financieros.**

- Inversión.
- Operación y mantenimiento.

2.2 Técnico-operativo.

- Personal requerido.
- Residuos sólidos biodegradables a tratar.

2.3 Ambientales

- Tiempo de degradación de los residuos.
- Generación de Vectores.

Tabla 8. Asignación de valores ponderados y priorización de criterios.

CRITERIOS DE DECISIÓN					
FINANCIEROS		TÉCNICOS		AMBIENTALES	
SUBCRITERIOS					
\$ inversión	\$ Operación y Mantenimiento	Personal requerido	Cantidad de residuos a tratar	Tiempo de degradación de residuos	Generación de Vectores
IMPORTANCIA RELATIVA ASIGNADA A LOS SUBCRITERIOS					
50%	50%	35%	65%	70%	30%
Porcentajes válidos		Porcentajes válidos		Porcentajes válidos	

Fuente: Este documento, adaptado de la clase de GTAA Ramírez (2019)

Financieros

- Inversión: se le asigna un peso porcentual del 50%, teniendo en cuenta que la central minorista Impala, depende del presupuesto municipal y de la administración del momento para la implementación de una alternativa óptima para el aprovechamiento de los residuos sólidos biodegradables.
- Operación y mantenimiento: Se propone para este subcriterio un peso porcentual del 50% debido a que el mantenimiento y operación de las alternativas propuestas deben ser cubiertas por la administración municipal y por la del establecimiento para el aprovechamiento de los residuos sólidos biodegradables.

Técnico- operativo

- Personal requerido: Para este subcriterio se define un valor del 35 % esto se debe a que las alternativas de aprovechamiento de los residuos biodegradables no necesitan de un personal especializado, para el funcionamiento y mantenimiento de la misma.

- Cantidad de residuos a tratar: se asigna un valor porcentual del 65% dado que cada alternativa de aprovechamiento tiene una capacidad de almacenamiento de residuos diferenciada.

Ambiental

- Tiempo de degradación de residuos: Para este subcriterio se propone un valor porcentual del 70% debido a que cada alternativa tiene un tiempo relativo dependiente de su estructura física.
- Generación de vectores: Se establece un peso porcentual del 30% dada las condiciones aerobias o anaerobias para la operación de cada alternativa de aprovechamiento y disposición final de los residuos biodegradables.

8.2.4.3 Comparaciones por pares.

La comparación por pares es el bloque constructivo fundamental del AHP, donde se establecen las prioridades de las alternativas en función de los criterios, para esto se expresa una preferencia en cuanto a cada uno de estos criterios comparándolos por pares (Financiero con técnico, Financiero con Ambiental y Técnico con ambiental), individualmente para cada criterio. La AHP utiliza una escala con valores de 1 a 9 para evaluar las preferencias relativas entre los elementos, estableciendo un planteamiento verbal para cada calificación, del siguiente modo:

Tabla 9. Escala de preferencias.

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación Numérica
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

Fuente: Hurtado (2005, cap. 3)

8.2.4.4 Criterios

4.1 Criterio financiero frente al criterio técnico-operativo. El criterio financiero es poderosamente más muy poderosamente más preferido sobre el criterio técnico operativo, porque los recursos son gestionados por la central minorista Impala y la administración municipal.

4.2 Criterio financiero frente al criterio ambiental. El criterio financiero es muy poderosamente más preferido que el criterio ambiental debido a la cantidad de residuos biodegradables que se generan en la central minorista Impala, que aumentan los costos.

4.3 Criterio técnico operativo frente al criterio ambiental. El criterio técnico operativo, es moderadamente más preferido en comparación al criterio ambiental, porque algunas de las tecnologías a implementar requieren un control por personal especializado.

La calificación que se realizó en la matriz de comparación por pares arrojó resultados en la matriz normalizada donde se muestra la prioridad relativa por cada criterio, destacando el criterio financiero (73,94%), seguido con el criterio técnico (17,88%) y el criterio ambiental (8,18%).

Tabla 10. Comparación por pares de criterios

MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES				
	FINANCIEROS	TÉCNICOS	AMBIENTALES	
FINANCIEROS	1	6	7	
TÉCNICOS	1/6	1	3	
AMBIENTALES	1/7	1/3	1	
SUMA	1,31	7,33	11,00	
MATRIZ NORMALIZADA				
	FINANCIEROS	TÉCNICOS	AMBIENTALES	PRIORIDAD RELATIVA
FINANCIEROS	0,76	0,82	0,64	73,94%
TÉCNICOS	0,13	0,14	0,27	17,88%
AMBIENTALES	0,11	0,05	0,09	8,18%
SUMA	1	1	1	100%

Fuente: Este documento, adaptado de la clase de GTAA Ramírez (2019).

5. Matriz de comparación por pares de las alternativas, subcriterio de inversión.

Para la toma de decisión frente a la evaluación en el subcriterio de inversión, se debe tener la premisa de que el municipio y la central minorista Impala aportarían recursos para la construcción, mantenimiento y operación de la alternativa de aprovechamiento de residuos biodegradables. Por lo tanto, se dará prioridad a la alternativa de menor costo.

- El compostaje anaerobio es moderadamente más preferido frente al compostaje aerobio debido a los costos de inversión inicial para su implementación.
- El compostaje aerobio es de poderosamente más a muy poderosamente más preferido frente al relleno sanitario, debido a que el costo de funcionamiento de la alternativa de compostaje aerobio es menor que el del relleno sanitario, puesto que los residuos sólidos a tratar en la compostera son exclusivamente de residuos biodegradables.
- El compostaje anaerobio es muy poderosamente más preferido que el relleno sanitario, porque los costos de implementación y operación son menores a los del relleno sanitario.

Como resultado de la comparación de la matriz por pares, se obtiene en la matriz normalizada como alternativa prioritaria el compostaje anaerobio con un 63,25% frente a las otras alternativas.

Tabla 11. Calificación del subcriterio de inversión.

MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES				
	Compostaje aerobio	Compostaje anaerobio	Relleno Sanitario	
Compostaje aerobio	1	1/3	6	
Compostaje anaerobio	3	1	7	
Relleno Sanitario	1/6	1/7	1	
SUMA	4,17	1,48	14,00	
MATRIZ NORMALIZADA				
	Compostaje aerobio	Compostaje anaerobio	Relleno Sanitario	PRIORIDAD RELATIVA
Compostaje aerobio	0,24	0,23	0,43	29,81%
Compostaje	0,72	0,68	0,50	63,25%

anaerobio				
Relleno Sanitario	0,04	0,10	0,07	6,94%
SUMA	1,00	1,00	1,00	100%

Fuente: Este documento, adaptado de la clase de GTAA Ramírez (2019)

6. Matriz de comparación por pares de las alternativas, subcriterio de operación y mantenimiento.

Para el subcriterio de operación y mantenimiento se tiene en cuenta los costos generados por la alternativa prioritaria, donde estos deberían ser menores por las condiciones financieras con las que se cuenta, siendo así:

- El compostaje anaerobio es igual a moderadamente más preferido que el compostaje aerobio, puesto que el personal requerido para la operación de la alternativa no requiere de especialistas.
- El compostaje aerobio es moderadamente más preferido que el relleno sanitario, dado que no requiere de mucho personal operativo como en el relleno sanitario.
- El compostaje anaerobio frente al relleno sanitario es de moderadamente más a poderosamente más preferido que el relleno sanitario, debido a que requiere menos personal especializado en materia de residuos biodegradables.

Lo anterior arrojó una prioridad relativa mayor para el compostaje anaerobio con un 55,71% en la matriz normalizada.

Tabla 12.Calificación del subcriterio de operación y mantenimiento.

MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES			
	Compostaje aerobio	Compostaje anaerobio	Relleno Sanitario
Compostaje aerobio	1	1/2	3
Compostaje anaerobio	2	1	4
Relleno Sanitario	1/3	1/4	1
SUMA	3,33	1,75	8,00

MATRIZ NORMALIZADA				
	Compostaje aerobio	Compostaje anaerobio	Relleno Sanitario	PRIORIDAD RELATIVA
Compostaje aerobio	0,30	0,29	0,38	32,02%
Compostaje anaerobio	0,60	0,57	0,50	55,71%
Relleno Sanitario	0,10	0,14	0,13	12,26%
SUMA	1,00	1,00	1,00	100%

Fuente: Este documento, adaptado de la clase de GTAA Ramírez (2019).

7. Matriz de comparación por pares de las alternativas, subcriterio personal requerido.

Para el subcriterio de personal requerido se tiene en cuenta el personal especializado de forma integral para la implementación y operación de la alternativa prioritaria, donde:

- El compostaje anaerobio es de poderosamente más a más poderosamente más preferido que el compostaje aerobio, considerando las condiciones en cuanto al personal especializado requerido para el funcionamiento de la alternativa.

- El compostaje aerobio, frente el relleno sanitario es de moderadamente más a poderosamente más preferido, debido a las condiciones de operación que el compostaje aerobio tendría para la cantidad de los residuos sólidos biodegradables a tratar.
- El compostaje anaerobio es muy poderosamente más preferido que el relleno sanitario, porque el personal que se requiere para la operación y mantenimiento de dicha alternativa es muy reducido.

De lo anterior, deriva un resultado que presenta como prioridad a la alternativa del compostaje anaerobio con un 72,49% en la matriz normalizada.

Tabla 13. Calificación del subcriterio personal especializado.

MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES			
	Compostaje aerobio	Compostaje anaerobio	Relleno Sanitario
Compostaje aerobio	1	1/6	4
Compostaje anaerobio	6	1	7
Relleno Sanitario	$\frac{1}{4}$	1/7	1
SUMA	7,25	1,31	12,00

MATRIZ NORMALIZADA				
	Compostaje aerobio	Compostaje anaerobio	Relleno Sanitario	PRIORIDAD RELATIVA
Compostaje aerobio	0,14	0,13	0,33	19,95%
Compostaje anaerobio	0,83	0,76	0,58	72,49%
Relleno Sanitario	0,03	0,11	0,08	7,56%
SUMA	1,00	1,00	1,00	100%

Fuente: Este documento, adaptado de la clase de GTAA Ramírez (2019)

8. Matriz de comparación por pares de las alternativas, subcriterio cantidad de residuos a tratar.

Para la elección de una alternativa apta, se consideran la cantidad de los residuos biodegradables a tratar, los cuales tienden a crecer desde su punto de generación en la central minorista, por lo que se evalúa la alternativa que tenga una mayor capacidad de recepción de dicha materia, así:

- El compostaje anaerobio es poderosamente más preferido que el compostaje aerobio, puesto que este alberga una mayor cantidad de residuos por área, al estar en una compostera cerrada.
- El relleno sanitario es moderadamente más preferido frente al compostaje aerobio, puesto que actualmente tiene una mayor capacidad para degradar los residuos provenientes de la central minorista.
- El relleno sanitario es de igual a moderadamente más preferido que el compostaje anaerobio, por las condiciones actuales de gran capacidad para disposición de los residuos en el relleno sanitario.

Lo anterior, arroja un resultado en la matriz normalizada de 50,13% de prioridad para el relleno sanitario.

Tabla 14.Calificación del subcriterio cantidad de residuos a tratar

MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES				
	Compostaje aerobio	Compostaje anaerobio	Relleno Sanitario	
Compostaje aerobio	1	1/5	1/3	
Compostaje anaerobio	5	1	½	
Relleno Sanitario	3	2	1	
SUMA	9,00	3,20	1,83	
MATRIZ NORMALIZADA				
	Compostaje aerobio	Compostaje anaerobio	Relleno Sanitario	PRIORIDAD RELATIVA
Compostaje aerobio	0,11	0,06	0,18	11,85%
Compostaje anaerobio	0,56	0,31	0,27	38,03%
Relleno Sanitario	0,33	0,63	0,55	50,13%
SUMA	1,00	1,00	1,00	100%

Fuente: Este documento, adaptado de la clase de GTAA (Ramírez, 2019)

9. Matriz de comparación por pares, subcriterio tiempo de degradación.

En cuanto a la comparación por pares, para el tiempo de degradación se tiene en cuenta la alternativa que degrada más rápidamente los residuos sólidos biodegradables, considerando como factor predominante la cantidad de residuos que se producen en la central minorista diariamente. De este modo, se compara así:

- El compostaje anaerobio es de poderosamente más a muy poderosamente más preferido que el compostaje aerobio, dado que en una compostera cerrada se acelera la degradación de la materia orgánica.
- El compostaje aerobio es moderadamente más preferido que el relleno sanitario, puesto que al albergar exclusivamente residuos sólidos biodegradables la tasa de degradación será mayor.
- El compostaje anaerobio frente al relleno sanitario es muy poderosamente más preferido, puesto que el primero tiene una alta tasa de degradación de residuos orgánicos.

De esta comparación, se prioriza en alternativa de compostaje anaerobio con un 73,94%.

Tabla 15. Calificación del subcriterio tiempo de degradación

MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES			
	Compostaje aerobio	Compostaje anaerobio	Relleno Sanitario
Compostaje aerobio	1	1/6	3
Compostaje anaerobio	6	1	7
Relleno Sanitario	1/3	1/7	1
SUMA	7,33	1,31	11,00

MATRIZ NORMALIZADA				
	Compostaje aerobio	Compostaje anaerobio	Relleno Sanitario	PRIORIDAD RELATIVA
Compostaje aerobio	0,14	0,13	0,27	17,88%
Compostaje anaerobio	0,82	0,76	0,64	73,94%
Relleno Sanitario	0,05	0,11	0,09	8,18%
SUMA	1,00	1,00	1,00	100%

Fuente: Este documento, adaptado de la clase de GTAA Ramírez (2019).

10. Matriz de comparación por pares, subcriterios vectores.

Al seleccionar una alternativa óptima, también se debe tener en cuenta la comunidad cercana, la cual es en la mayoría de los casos la más afectada por la proliferación de vectores. Es por eso que, para la matriz de comparación por pares en cuanto a los vectores, se enfoca principalmente a la alternativa que menos vectores genere. De este modo:

- El compostaje anaerobio es muy poderosamente más preferido que el compostaje aerobio, porque al ser un contenedor cerrado en donde se disponen los residuos disminuye la posibilidad de generación de olores y residuos a la intemperie que atraen distintos vectores.
- El compostaje aerobio es moderadamente más preferido que el relleno sanitario, puesto que, al tener exclusivamente los residuos biodegradables generados en la central minorista, se podrá tener un mayor control frente a la generación de vectores en la compostera.
- El compostaje anaerobio frente al relleno sanitario es muy poderosamente más preferido, puesto que el relleno sanitario es comúnmente conocido no solo por ser foco para la proliferación de olores, sino también como un lugar que ayuda a los distintos vectores a más de 50 kilómetros de ubicación del relleno.

Por esto, en la matriz normalizada se da prioridad a la alternativa de Compostaje anaerobio con un 76,71%

Tabla 16. Calificación del subcriterio vectores

MATRIZ DE COMPARACIÓN POR PARES			
	Compostaje aerobio	Compostaje anaerobio	Relleno Sanitario
Compostaje aerobio	1	1/7	2
Compostaje anaerobio	7	1	7

Relleno Sanitario	½	1/7	1	
SUMA	8,50	1,29	10,00	
MATRIZ NORMALIZADA				
	Compostaje aerobio	Compostaje anaerobio	Relleno Sanitario	PRIORIDAD RELATIVA
Compostaje aerobio	0,12	0,11	0,20	14,29%
Compostaje anaerobio	0,82	0,78	0,70	76,71%
Relleno Sanitario	0,06	0,11	0,10	9,00%
SUMA	1,00	1,00	1,00	100%

Fuente: Este documento, adaptado de la clase de GTAA (Ramírez, 2019).

8.2.4.5. Decisión

La tecnología más apropiada es el Compostaje anaerobio, en función de los criterios FINANCIEROS (Subcriterios \$ inversión y \$ Operación y Mantenimiento), TÉCNICOS (Subcriterios Personal requerido y Cantidad de residuos a tratar) y AMBIENTALES (Subcriterios Tiempo de degradación de residuos y Generación de Vectores), con un 59% de prioridad relativa.

Tabla 17. Decisión de la tecnología más apropiada.

ALTERNATIVAS	IMPORTANCIA RELATIVA CRITERIOS Y SUBCRITERIOS						PRIORIDAD RELATIVA
	FINANCIEROS		TÉCNICOS		AMBIENTALES		
	73,94%		17,88%		8,18%		
	\$ inversión	\$ Operación y Mantenimiento	Personal requerido	Cantidad de residuos a tratar	Tiempo de degradación de residuos	Generación de Vectores	
	50%	50%	35%	65%	70%	30%	

Compostaje aerobio	0,110	0,118	0,012	0,014	0,010	0,004	26,86%
Compostaje anaerobio	0,234	0,206	0,045	0,044	0,042	0,019	59,05%
Relleno Sanitario	0,026	0,045	0,005	0,058	0,005	0,002	14,09%
TOTAL							100,0%

Fuente: Este documento, adaptado de la clase de GTAA (Ramírez, 2019)

8.2.5 Costo del Compostaje Anaerobio

Basados en Hernández (2020) se establecieron los costos de inversión y operación para la alternativa seleccionada “Compostaje Anaerobio”. En la siguiente tabla se evidencian los costos de inversión entre los cuales se destacan la pre inversión, en donde incluye la prefactibilidad del suelo, los diseños dimensionados para las 132 toneladas mensuales de residuos biodegradables que se producen en la central minorista y los permisos que deben ser debidamente tramitados ante la Corporación Autónoma Regional de Risaralda para la apertura y funcionamiento de la planta de compostaje. También, se hace referencia a los costos de infraestructura, maquinaria y equipos incluyendo la construcción e instalación del sistema de compostaje. Además, se considera el costo de inversión de la báscula de pesaje para conocer la cantidad exacta de los residuos generados en la central minorista Impala, Así:

Tabla 18. Costos de inversión de la alternativa óptima.

COSTOS DE INVERSIÓN	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Pre-inversión				27.654.146
Estudios, Diseños	% de inversión	1,50%	921.804.881	13827073,2
Permisos	% de inversión	1,50%	921.804.881	13827073,2
Infraestructura				2.141.239
Maquinaria y Equipos (incluido el costo de instalación)				932409052
Sistema de compostaje incluida construcción	\$/tpa	3.705	231.748	858626340
Báscula de pesaje	Unidad	1	73.782.712	73782712
Subtotal				962.204.437

Fuente: Fuente: Este documento, adaptado de Hernández (2020)

Del mismo modo, se analizaron los costos del personal requerido para la implementación de la alternativa, dichos costos están basados en el SMMLV del año 2020, donde se incluyen el pago del ARL, parafiscales, pensión, cesantías, primas de servicios, vacaciones y demás costos laborales.

Tabla 19. Costos de Implementación

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	UNIDAD	Costo mensual
Ingeniero especialista en sistemas cerrados	1	3040000
Administrativo	1	1454000
Supervisor	1	1301500
Operario de maquinaria	1	1450000
Operario auxiliar	2	980657
Total		8226157

Fuente: Fuente: Este documento, adaptado de Hernández (2020)

De este modo, el costo inicial para la implementación de un sistema de compostaje anaerobio para la central minorista impala del Municipio de Pereira es de \$970.430.594.

Por otra parte, en los costos fijos mensuales de operación de dicha alternativa se consideró el tratamiento del agua residual derivado del funcionamiento de la planta de compostaje, el consumo de agua potable, el consumo de energía eléctrica y el monitoreo ambiental (microorganismos, temperatura, pH y compactación de la materia orgánica).

Tabla 20. Costos de operación de la alternativa óptima.

COSTOS DE OPERACIÓN	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	\$ / Mes
Tratamiento Agua residual	m3/ton de residuos	0,03	2000	18250
Agua (consumo)	m3/ton de residuos	0,24	700	50035,41667
Energía (consumo)	MWh/ton de residuos	0,05	138087	2100065,833
Monitoreo Ambiental Temperatures, moisture and pH-values, C/N-ratio, pore space (particle size)	Muestreos/año	12	1000000	1000000
Subtotal				3168351,25

Fuente: Este documento, adaptado de Hernández (2020)

En cuanto a los costos fijos del personal se cuenta con cuatro empleados de planta, los cuales son: Auxiliar administrativo, Auxiliar de Compostaje y operarios.

Tabla 21. Costos de la alternativa óptima.

COSTOS DE PERSONAL	Costo mensual	Unidad
Auxiliar Administrativo	1454000	1
Auxiliar de compostaje	1454000	1
Operario	980657	2
Total	3888657	4

Fuente: Este documento, adaptado de Hernández (2020).

Los costos fijos de mantenimiento incluyen, la revisión mensual y posible modificación de la infraestructura, maquinaria y equipos necesarios para garantizar las condiciones de humedad, temperatura y aireación del sistema de compostaje anaerobio.

Tabla 22. Costos de mantenimiento de la alternativa óptima.

COSTOS DE MANTENIMIENTO	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	\$ / Mes
Infraestructura, Maquinaria y equipos	% / inversión	3%	91966642	2299159,083
Subtotal				2299159,083

Fuente: Este documento, adaptado de Hernández (2020).

Considerando lo anterior los costos fijos mensuales para el sistema de compostaje anaerobio serían de aproximadamente \$9.356.167, costos que podrían aumentar o disminuir por la diferencia mensual de residuos sólidos generados en la central minorista Impala.

Estos costos de inversión podrían ser recuperados paulatinamente, mediante la venta de compost orgánico. Según la Tienda Bioespacio ubicada en la ciudad de Bogotá una bolsa abono orgánico (compost) por 30 kg es comercializada en \$60.000, es decir, si se vendiera al mes una tonelada de compostaje, la central minorista Impala estaría generando ingresos de \$2.000.000 mensuales.

8.3 Resultados objetivo 3

Estructurar una propuesta de transformaciones al sistema de manejo actual de los residuos biodegradables generados en la central minorista Impala, que conduzca al tratamiento y aprovechamiento de dichos residuos, a través del concepto de educación ambiental mediante capacitaciones y talleres acerca de la separación en la fuente, recolección interna y tratamiento con

finés de aprovechamiento, para la realización de las propuestas de Educación Ambiental se tuvo como base el documento denominado Educación Ambiental Para El Manejo de Los Residuos Sólidos (Cabrejo, 2018).

8.3.1 Separación en la Fuente

De este modo para dar cumplimiento a la estructuración de una propuesta, se tiene en cuenta que a partir del 1° de enero de 2021, se decreta por la resolución 2184 de 2019 (Universidad Externado de Colombia, 2020)) que los municipios y distritos deberán implementar el código de colores para la presentación de los residuos sólidos en bolsas u otros recipientes, garantizando así el aprovechamiento de residuos del servicio público de aseo, de acuerdo con lo establecido en los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS)

Es así como surge la necesidad de proponer a la central minorista Impala de la ciudad de Pereira, la implementación de los contenedores diferenciados, permitiendo dar cumplimiento al artículo 4° de dicha resolución donde se adopta el código de colores para la separación de residuos sólidos en la fuente, así:

Figura 4. Recipientes por colores



Fuente: Ambientum (2020).

- Color verde: Residuos orgánicos aprovechables.

- Color Blanco: Residuos aprovechables (plástico, vidrio, metales, multicapa, papel y cartón.)
- Color negro: Residuos no aprovechables.

Los contenedores podrían ser distribuidos de la siguiente manera:

En el primer piso del establecimiento, se distribuirán los contenedores cada cuatro locales, permitiendo contar así con 73 contenedores. En el segundo piso de la central minorista, se distribuirán los recipientes cada 6 módulos de trabajo, lo que permitirá contar en este piso con 22 contenedores. Por último, en el tercer piso se establecerán dos estaciones con contenedores diferenciados, dado que son locales que prestan servicios de restaurante. Por último, en el exterior de la central se instalará una estación con dichos contenedores.

Para dar cumplimiento a la separación de residuos sólidos por colores, se propone realizar talleres de educación ambiental, enfocada a la capacitación de los funcionarios de la central minorista Impala.

Jornada Lúdica de Separación de Residuos en la Fuente.

La Jornada Lúdica de Separación, es una estrategia que se construye con el objetivo de despertar la sensibilidad ambiental de los funcionarios del establecimiento mediante la separación de los residuos en los puntos ecológicos, aumentando la entrega de los residuos biodegradables para el aprovechamiento en el sistema de compostaje anaerobio, así como la entrega de los residuos aprovechables (plástico, vidrio, metales, multicapa, papel y cartón) a otras entidades y finalmente los no aprovechables como destino último el relleno sanitario.

Temas: Programa Gestión integral de Residuos / Separación adecuada de los residuos aprovechables y ordinarios.

Objetivo del Taller: Participar en la Jornada Lúdica de Separación de Residuos Sólidos y sensibilizar a los aprendices en el uso adecuado de los Puntos Ecológicos.

Periodicidad: 4 veces al año

Encargados: Administradoras Ambientales

8.3.2 Recolección interna

Teniendo en cuenta que las personas encargadas de la recolección interna son las mismas que se encargan de los servicios generales del establecimiento, es necesario generar espacios de capacitación donde se puedan garantizar el conocimiento de la importancia de la separación de los residuos, así como, la disposición final de los mismos.

Capacitaciones de recolección interna.

Mediante la modalidad de seminarios se capacitarán a las personas encargadas de los servicios generales, en temas relacionados a los impactos negativos generados por la inadecuada disposición de los residuos en la central minorista y los beneficios ambientales que ofrecería realizar correctamente la separación de los residuos.

Temas: Programa Gestión integral de Residuos / Recolección adecuada de los residuos aprovechables y ordinarios.

Objetivo del Taller: Participar en el seminario de separación y recolección de residuos sólidos y sensibilizar a los operarios de servicios generales para la adecuada utilización de los Puntos Ecológicos.

Periodicidad: 3 veces al año

Encargados: Administradoras Ambientales

8.3.3 Tratamiento con fines de aprovechamiento

Con el manejo, tratamiento y aprovechamiento de los residuos biodegradables se busca incrementar sus posibilidades de reutilización, recuperando eficientemente diferentes materiales, minimizando los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana. En este caso, el aprovechamiento se realizaría con la implementación del sistema de compostaje anaerobio, por este motivo es importante capacitar la totalidad del personal perteneciente a la central minorista, compuesta desde los administrativos, hasta los funcionarios y vendedores del establecimiento.

Taller teórico-práctico

Mediante la fase teórica, se buscará que todos lo que hacen parte de la central minorista adquieran conocimiento frente al manejo y aprovechamiento de los residuos biodegradables generados en la central, dado que podrían obtener beneficios ambientales (reducción del HC) y económicos (con la venta de la materia orgánica)

En la fase práctica, se realizará una visita guiada al relleno sanitario la Glorita, para evidenciar las desventajas reflejadas no solo en impactos asociados a un mal manejo, inadecuada disposición, sino también a una limitada vida útil del relleno.

Temas: Programa Gestión integral de Residuos / Disposición Final en Relleno Sanitario.

Objetivo del Taller: Participar en el taller teórico-práctico reconociendo en campo y a escala real la alternativa de disposición final de residuos sólidos conocida como relleno sanitario.

Periodicidad: 2 veces al año

Encargados: Administradoras Ambientales

Inspecciones planificadas y no planificadas

Las Inspecciones planeadas y no planeadas tienen como función realizar un seguimiento a una situación problema que se presenta en una actividad específica, para este caso se realizarán visitas a la central minorista para verificar el estado de las estaciones ecológicas luego de que funcionarios (directivos, vendedores y trabajadores de servicios generales) reciban su respectiva capacitación y/o taller.

Temas: Gestión de Residuos Sólidos

Objetivo de las Inspecciones: Realizar la inspección a las estaciones ecológicas pertenecientes a la central minorista Impala, para verificar su uso correcto y cumplir con los requerimientos establecidos en el PGIRS.

Periodicidad: 6 veces al año cada 2 meses aproximadamente, donde tres de estas visitas no serán planificadas.

Encargados: Las inspecciones serán realizadas por los administrativos de la central minorista, sin embargo, en las primeras 3 visitas será necesario contar con el apoyo de las Administradoras Ambientales para corregir y orientar a las personas que por duda o desconocimiento no dispongan los residuos en el contenedor correspondiente. Las tres visitas posteriores, podrán ser realizadas únicamente por los funcionarios del establecimiento.

9. CONCLUSIONES

- En la actualidad la central minorista impala, no aprovecha los residuos biodegradables, enviándolos en su totalidad al relleno sanitario regional “La Glorita” de la ciudad de Pereira, dado que en el municipio no existe un sistema de aprovechamiento.
- La implementación de la metodología de jerarquización permitió la selección de la alternativa óptima para el manejo y tratamiento y aprovechamiento de los residuos biodegradables generados en la central minorista impala.
- La transformación en el manejo del sistema actual de residuos biodegradables, mediante la implementación de actividades enfocadas en la educación ambiental, generaría beneficios tanto para los funcionarios de la central minorista como la población de la ciudad de Pereira, reduciendo la huella de carbono.
- La aplicación de la alternativa de compostaje anaerobio puede ser viable para distintas cantidades de residuos orgánicos a nivel económico y ambiental.

10. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Pereira. (2015). Actualización del Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS 2015 – 2027. Recuperado de: <https://bit.ly/2FQQIoF>

Alcaldía de Pereira. (2019). Decreto 270 del 2019. Por medio del cual se actualiza adoptándose el esquema de aprovechamiento del servicio público de aseo, la formalización transitoria del oficio de reciclaje en el Municipio de Pereira, se modifica e incorpora el PGIRS del Municipio y se dictan otras disposiciones.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (s.f). *Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura*. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://bit.ly/3hPQWK5>

Ambientum. (2020). Código de colores para el reciclaje en Colombia. Recuperado de: <https://bit.ly/35UmPic>

Ambientum. (s.f.). *Mecanismos fermentación aeróbica*. Recuperado de: <https://bit.ly/362zv6y>

Amigos de la Tierra. (2015). *Ventajas del Compostaje*. Recuperado de: <https://bit.ly/3hKVtK>

Banco Mundial – República de Colombia. (2014). Marco de gestión ambiental y social. Recuperado de: <https://bit.ly/2FU135J>

Bustos, D. (2013). *Propuesta Para El Aprovechamiento De Residuos Orgánicos En El Colegio Summerhill School, Empleando El Compostaje*. [Trabajo de Grado]. Universidad Libre. Recuperado de: <https://bit.ly/2EoE1RG>

Cabrejo, A. (2018). *Educación ambiental en el manejo de los residuos sólidos en el centro materiales y ensayos en SENA Bogotá*. Universidad Santo Tomas.

Chunga, A. (s.f). *Análisis económico de la ampliación del manejo de residuos sólidos por medio de la segregación en la fuente en Lima Cercado*. Recuperado de: <https://bit.ly/35WViwC>

Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. (2014). Las pérdidas y el desperdicio de alimentos en el contexto de sistemas alimentarios sostenibles. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i3901s.pdf>

Díaz, L., Vallejo, A. (2017). *Propuesta para el diseño del nuevo relleno sanitario para el municipio de Aguachica – Cesar*. [Trabajo de Grado]. Universidad Católica de Colombia Recuperado de: <https://bit.ly/2ROj0mx>

Empresa de Aseo de Pereira. (2013). *Potencial De Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Biodegradables Generados En La Central Minorista Impala De La Ciudad De Pereira Programa Basura Cero*.

Empresa de aseo. (2013). *Potencial de aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables generados en la central minorista Impala de la ciudad de Pereira*.

Escalona, E. (2014). Daños a la salud por mala disposición de residuales sólidos y líquidos en Dili, Timor Leste. Recuperado de: <https://bit.ly/3iRAGcH>

Gómez, R. (2006). Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. Recuperado de: <https://bit.ly/33R9Nj3>

González S. Ramón Plana (2008). Los tratamientos biológicos de los residuos orgánicos. Maestro compostador. Recuperado de: <https://bit.ly/32PTZOOb>

Granda, L. (2014). *Propuesta De Mejora a la Disposición Final de Basuras del Municipio de Remedios-Antioquia*. [Trabajo de Grado]. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de: <https://bit.ly/2FGaiV7>

Hernández, D. (2020). *Modelo matemático para el calculo de la Huella de Carbono*.

MAC Consultoría. (2016). *Estudio De Técnicas Alternativas De Tratamiento, Disposición Final Y/O Aprovechamiento De Residuos Sólidos - Propuesta De Ajuste Al Decreto 838 De 2005*.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2012). *Guía para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios*. Bolivia. Recuperado de: <https://bit.ly/3kBwChb>

Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio. (2013) Decreto 2981 de 2013 “*Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público*”. Recuperado de: <https://bit.ly/30dHk63>

Montaño, F. (s.f.). *Identificación de Sitios Potenciales para la Construcción de un Relleno Sanitario a Partir de un SIG En El Municipio De Timbiqui – Cauca*. Recuperado de: <https://bit.ly/2FORTVR>

Nantes, E. (2019). El método Analytic Hierarchy Process para la toma de decisiones. Repaso de la metodología y aplicaciones para profesionales. Universidad Nacional del Sur. Recuperado de: <https://bit.ly/35UVmwJ>

Régimen legal de Bogotá (1993). Ley 99 de 1993 Nivel Nacional. Recuperado de: <https://bit.ly/2ZUaTJm>

Román, P., Martínez, M., Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile Recuperado de: <https://bit.ly/3hV9sR3>

Ramírez, A. (2019). *Matriz de la metodología AHP*. Clase de la asignatura Gestión de la Tecnología Ambientalmente Apropiaada. Universidad Tecnológica de Pereira.

Soliva, M., López, M., Huerta, O. (2008). Pasado, Presente y Futuro del Compost. II Conferencia Internacional sobre Eco-Biología del Suelo y el Compost. Recuperado de: <https://bit.ly/3j48vYp>

Stern, D., Pravia, M. (1999) *Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos*. Organización Panamericana De La Salud. Recuperado de: <http://ops-uruguay.bvsalud.org/pdf/compost.pdf>

Torri, S. (2017). ¿Qué es un relleno sanitario? Universidad de Buenos Aires. Recuperado de: <https://bit.ly/32Ra9qt>

Ullca, J. (2006) *Los Rellenos Sanitarios La Granja*. *Revista de Ciencias de la Vida*. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>

Universidad Externado de Colombia. (2020). Resolución 2184 de 2019 “*Por la cual se modifica la resolución 668 de 2016 sobre el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones*”. Recuperado de: <https://bit.ly/3cnnRo3>

Vega, P. Álvarez, P. (2005). Planteamiento de un marco teórico de la Educación Ambiental para un desarrollo sostenible. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Volumen. 4* N° 1
Recuperado de: <https://bit.ly/2FO6nFB>

Yang F., Li, Y., Han, Y., Qian, W., Li, G., Luo, W. (2019). Performance of mature compost to control gaseous emissions in kitchen waste composting. *Science of The Total Environment. Volume 657*, (p. 262-269)

11. ANEXOS

Tabla 23. Valores asociados huella de carbono asociada a la generación y manejo de residuos biodegradables central minorista Impala

c	Cantidad	Unidad	Etapas	Salida	Cantidad	Unidad				
Materias primas y recursos naturales			Obtención de materias primas y producción de bienes de consumo obsoletos que forman parte del flujo de residuos (de la cuna a la tumba)	Bienes de consumo obsoletos	1.267,2	Ton/Año				
				GEI Producción alimentos	1.031,8	Ton. Eq. CO2/Año				
				Total materias primas y manufactura	1.031,8	Ton. Eq. CO2/Año				HC con aprovechamiento (Ton. Eq. CO2/Año)
										1.031,8
										1.031,8
Empaques y bienes de consumo obsoletos del sector residencial		Ton	Uso (consumo) de productos en la central minorista IMPALA de Pereira	Generación de residuos:						
				Biodegradables	1.267,2	Ton/Año				
				Total generación de residuos	1.267,2	Ton/Año				
Combustible (ACPM - Diesel) recolección y transporte residuos no aprovechados	594,3	Gal/Año	Recolección y transporte de residuos hasta su fin de vida (aprovechamiento, tratamiento y disposición final)	Emisiones de GEI por recolección y transporte de residuos hasta su fin de vida						
				Emisiones de CO2 vehículos recolect.	6,1	Ton. Eq. CO2/Año				
				Emisiones de CH4 vehículos recolect.	0,0	Ton. Eq. CO2/Año				
				Emisiones de N2O vehículos recolect.	0,0	Ton. Eq. CO2/Año				
				Total emisiones por recolección y transporte residuos	6,1	Ton. Eq. CO2/Año				
residuos:			Fin de vida residuos aprovechados	Reducción de emisiones de GEI por aprovechamiento de residuos						
Biodegradables aprovechados	-	Ton/Año		Emisiones de GEI por tratamiento de biod.	-	Ton. Eq. CO2/Año				
Aprovechamiento aeróbico	-			Tratamiento aeróbico (compostaje)	-	Ton. Eq. CO2/Año				
Aprovechamiento anaeróbico	-			Tratamiento anaeróbico (digestión)	-	Ton. Eq. CO2/Año				
Papeles recuperados	-	Ton/Año		Emisiones de GEI por reciclaje de papeles	-	Ton. Eq. CO2/Año				
Plásticos recuperados	-	Ton/Año		Emisiones de GEI por reciclaje de plásticos	-	Ton. Eq. CO2/Año				
Vidrios recuperados	-	Ton/Año		Emisiones de GEI por reciclaje de vidrios	-	Ton. Eq. CO2/Año				
Metales recuperados	-	Ton/Año		Emisiones de GEI por reciclaje de metales	-	Ton. Eq. CO2/Año				
				Total reducción de emisiones por reciclaje de residuos	-	Ton. Eq. CO2/Año				
residuos:			Fin de vida residuos no aprovechados (incineración)	Emisiones de GEI por incineración de residuos						
Papeles a incinerar	-	Ton/Año		Emisiones por incineración de papeles	-	Ton. Eq. CO2/Año				
Plásticos a incinerar	-	Ton/Año		Emisiones por incineración de plásticos	-	Ton. Eq. CO2/Año				
Madera a incinerar	-	Ton/Año		Emisiones por incineración de madera	-	Ton. Eq. CO2/Año				
Textil a incinerar	-	Ton/Año		Emisiones por incineración de textil	-	Ton. Eq. CO2/Año				
Otros residuos a incinerar	-	Ton/Año		Emisiones por incineración de otros residuos	-	Ton. Eq. CO2/Año				
				Total emisiones por incineración de residuos	-					
residuos:			Fin de vida de residuos no aprovechados (Disposición final en relleno sanitario)	Emisiones de GEI por disposición final de residuos						
Biodegradables	1.267,2	Ton/Año		Emisiones de CH4 en biogás por descomposición de residuos biodegradables	2.654,0	Ton. Eq. CO2/Año				
Papeles	-	Ton/Año								
Plásticos	-	Ton/Año		GEI del tratamiento de lixiviados (sistema anaeróbico)	4.459.391,7	Ton. Eq. CO2/Año				
Vidrios	-	Ton/Año								
Metales	-	Ton/Año								
Otros	-	Ton/Año								
Combustible maquinaria (Diesel B-10)	612,5	Gal/Año		Emisiones de CO2 maquinaria	6,3	Ton. Eq. CO2/Año				
Energía eléctrica	832,0	kWh/Año		Emisiones de CH4 maquinaria	0,0	Ton. Eq. CO2/Año				
Lixiviado a tratar	6.330.047,2	m3/Año		Emisiones de N2O maquinaria	0,0	Ton. Eq. CO2/Año				
				GEI asociados al consumo eléctrico	0,2	Ton. Eq. CO2/Año				
				Total emisiones por disposición final	4.462.052,1	Ton. Eq. CO2/Año				

Fuente: Este documento, adaptado de Hernández (2020)

